

近接構造物が点在するトンネルでの逆解析による情報化施工の一例

- 中央導坑などの既施工区間の計測結果の活用 -

日本道路公団 正会員 福田 美文
西松建設(株) 正会員 桑田 俊男
レヴェックスコンサルタント(株) 正会員 石松 辰博 ○梶山 貴司 古市 秀和

1. はじめに

本トンネル工事は、掘削対象地山が火山砕屑物（火山砂礫～砂礫）で、土被りが平均2D（D：トンネル掘削幅）以内と浅い上、上部に道路・家屋・鉄塔・水路トンネルなどの物件が点在する多くの制約条件下での施工であった。このような条件下で、事前解析の他、施工時の計測結果に基づく逆解析を行い、地山物性を再評価し、次段階のトンネルの安定予測・影響予測・事前対策を行った。本稿では、中央導坑施工時の計測結果および本坑の既施工区間の計測結果を逆解析し、施工に反映した事例を報告する。

2. 計測結果の反映の基本的な流れ

中央導坑・本坑上半などの各施工段階で、計測結果を用いて逆解析を実施し、地山の再評価を行った。基本的な施工への反映の流れを記すと図2.1のとおりである。

本トンネルはトンネルの安定性のみならず、前述のような支障物件が各所に存在していることから、逆解析により求めた地山物性値を用いて、順解析（FEM解析）を実施し、最終状態の影響度を予測した。予測の結果、許容値を上回る影響が予測された場合、効果的な対策工の検討もFEM解析で行った。

3. 中央導坑での地山物性の再評価

3.1 地山物性の推定 本トンネルの掘削工法が「中央導坑先進掘削工法」であることから、先進する中央導坑での計測結果を用いて、切羽観察結果・計測データおよび逆解析を実施し、地山物性の推定を行った。

中央導坑での逆解析の考え方は「比較的土被りのある坑奥部の区間で実施。事前調査での3区分の地山の弾性係数比率は一定。一次支保は地山との弾性係数比として入力。先行応力開放率は40%と仮定」とした。表3.1は当初想定値と逆解析での推定結果を比較したものである。逆解析での推定弾性係数は、事前の想定よりやや良好との結果が得られた。

3.2 水路トンネルへの影響解析 最も懸念された水路トンネル（本トンネル天端より約7m上方で斜交している）への本坑掘削時の影響解析は、影響緩和を目的とした薬液注入の試験施工の結果得られた改良体の弾性係数と、逆解析での推定物性を入力値に、2次元及び3次元FEMを実施した。結果は以下のとおりである。

2次元FEMでは、無対策時で29.0mm、地山改良対策時で25.3mmと共に、水路トンネルの許容値20mmを満足できなかった。（図3.1参照）

3次元FEMでは、無対策時で27.8mm、地山改良対策時で20.0mmとなり、許容値20mmを満足できる結果となった。（図3.2参照）

キーワード：逆解析，地山改良，近接構造物，情報化施工，低土被り，火山砂礫

連絡先：〒213-0026 川崎市高津区久末 2134 TEL 044-755-9390 FAX 044-740-7841

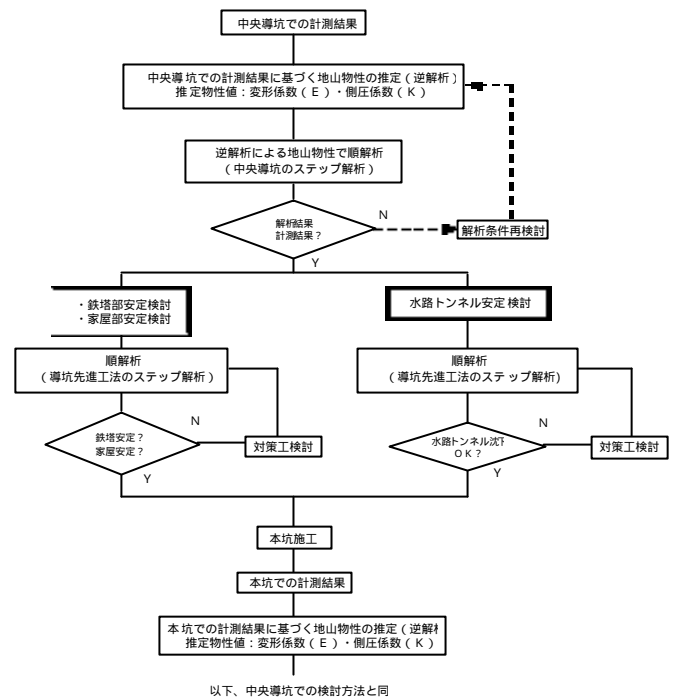
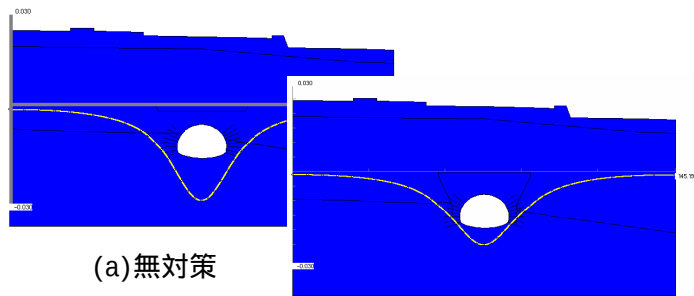


図2.1 基本的な計測結果の反映フロー

表3.1 中央導坑での逆解析結果

地質	弾性係数 (N/mm ²)	
	当初設計	逆解析
火山砂礫 (O v f)	230	400
砂礫 (O v a)	120	210
ローム (Lm)	10	33

表3.1は当初想定値と逆解析での推定結果を比較したものである。逆解析での推定弾性係数は、事前の想定よりやや良好との結果が得られた。



(b)地山改良時

図 3.1 2D-FEM 解析結果

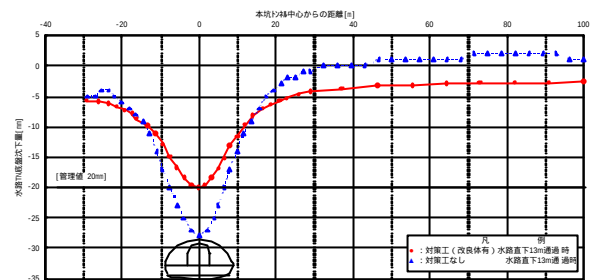


図 3.2 3D-FEM 解析結果

4. 本坑での逆解析と施工への反映

本坑上半掘削時にも計測結果に基づく逆解析により地山物性を推定し、トンネルの安定解析・近接構造物への影響解析を行った。その結果は以下のとおりである。

地山の推定弾性係数は一部区間を除き $370 \sim 440 \text{ N/mm}^2$ で中央導坑での推定結果とほぼ同じとなった。

地中沈下測定での先行変位率は 59% で、支保効果を検討した順解析の結果、先行応力解放率は 45% となった。（図 4.1 参照）

一部区間での推定弾性係数は 290 N/mm^2 と小さく、地表部の鉄塔への影響が懸念されたため、対策工（フットボルト）を検討したが、その後 380 N/mm^2 程度に地山が好転したため対策工は実施せず。

なお、図 4.2 に地中沈下・地表沈下の実測値と順解析での結果を示しているが、概ね良好な結果が得られた。

5. 最終的な影響度合と地山改良区間の物性の再評価

最終的な本坑掘削による水路トンネルの沈下は最大で、12.1mm で、許容値 20mm 以内に抑制できた。

水路トンネルの沈下測定結果および周辺地山の測定結果などの逆解析結果から水路トンネル区間での地山改良部の推定弾性係数は $600 \sim 650 \text{ N/mm}^2$ となり、設計時の想定弾性係数に概ね等しい結果となった。

6. まとめ

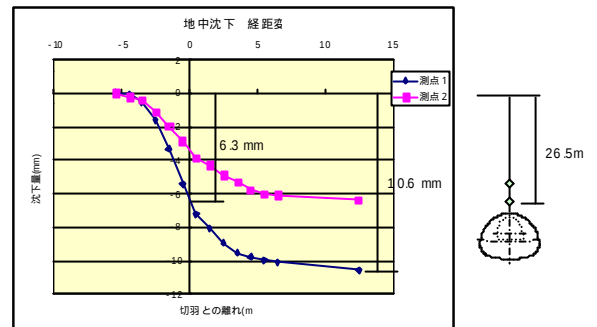
計測結果と逆解析結果の施工への主な反映内容をまとめると以下のとおりである。

中央導坑施工後の逆解析結果から掘削対象地山は設計時の想定よりやや良好であることが判明した。本坑での水路トンネルへの影響は薬液注入工での地山改良で許容値以内に抑制できると判断。

本坑上半での逆解析による推定地山弾性係数も中央導坑での結果に概ね等しい。この結果を用いて道路・鉄塔・家屋等の近接物件の最終的な影響度合を予測。対策工の要否について検討した。

地中沈下測定での先行変位率に基づき、解析上重要な要素である先行応力解放率を推定し、解析精度を向上させた。（推定先行応力開放率：45%）

参考文献 金丸ら：平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会 Vol187 2002 年 2 月号 pp331-332



	計測結果	解析結果		
		α 1=40%	α 1=45%	α 1=50%
先行変位 (mm)	63	5.5	6.2	6.9
全上半変位 (mm)	10.6	10.2	10.5	10.8
先行変位率 (%)	59%	54%	59%	64%
備考	E = 3700 kgf/cm			

図 4.1 応力開放率の算定

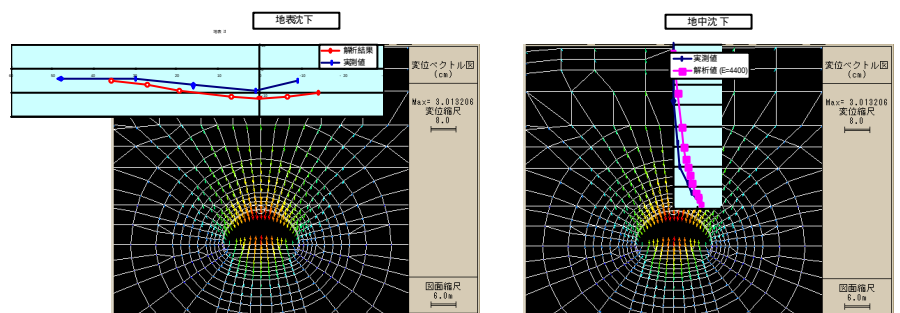


図 4.2 推定弾性係数の妥当性の検証